



Ulla-Maija Koivisto, Juhani Junttila ja Jarkko Karvonen

Sydämentahdistimet – millaisia, keille ja mitä klinikon tulee huomioida?

Tahdistinlaitteita käytetään sydämen hidasyöntisyyden, kammioeräisten rytmihäiriöiden ja sydämen vaikean vajaatoiminnan hoidossa. Tahdistin ohjelmoidaan yksilöllisesti, jotta hoito olisi tehokasta ja turvallista. Hidaslyöntisyyden tahdistuksessa tavoitteena on korjata sydämen johtorataaurion aiheuttama haitta ja palauttaa sydämen normaali sähköinen aktivaatiojärjestys välttämättä aiheutonta kammiotahdistusta. Rytmihäiriötahdistin pysäyttää pitkäkestoisen kammiotakykardian tai kammiovärinän. Vajaatoiminnan tahdistinhoidossa pyritään parantamaan vasemman kammion toimintaa optimaalilla vasemman kammion täyttö sekä yhtäaikaistamalla kammioseinämiä supistus biventrikulaarisella tahdistuksella. Osassa vajaatoimintatahdistimista on mahdollisuus myös rytmihäiriötahdistinhoitoon. Hisin kimpun tahdistus mahdollistaa fysiologisen kammioiden aktivaation johtoratajärjestelmän kautta ilman oikean kammion tahdistukseen liittyviä haittoja. Johdottomalla tahdistimella ja ihonalaisella rytmihäiriötahdistimella voidaan välttää tahdistinhoitoon liittyviä johto-ongelmia ja infektiokomplikaatioita.

Tahdistimet ovat toiminnaltaan joko yksitai kaksilokeroisia. Yksilokeroisessa tahdistimessa tahdistinelektrodi sijaitsee joko oikeassa eteisessä (AAI-tahdistin) tai oikeassa kammiossa (VVI-tahdistin). Kaksilokeroisessa (DDD) tahdistimessa elektrodit sijaitsevat yleensä sekä oikeassa eteisessä että oikeassa kammiossa, joissa molemmissa tapahtuu luontaisen rytmin tunnistus ja tarvittava tahdistustoiminta. Erityistapauksissa kammiojohto voidaan asentaa myös His–Purkinjen säikeistön alueelle oikean eteisen puolelle. Biventrikulaarisessa tahdistuksessa (CRT) toinen kammiojohto asennetaan tavallisesti sepelpoukaman (sinus coronarius) kautta vasemman kammion sivuseinälle.

Tahdistinhoidon asennus- ja pitkäaikaiskomplikaatiot liittyvät pääasiassa laskimoteitse asennettaviin tahdistinjohtoihin (**TAULUKKO 1**). Haasteellisin komplikaatioista on tahdistinjärjestelmän infektio, jonka hoito yleensä edellyttää tahdistimen ja johtojen poistoa. Tahdistinjohtojen poistoon tarvitaan erikoisvälineitä, ja toimenpiteeseen liittyy vakavien komplikaatioiden riski. Johtovaurio voi aiheut-

taa erilaisia tahdistimen toimintahäiriöitä ja rytmihäiriötahdistinhoidossa epätarkoituksenmukaisia iskuhoitoja. Riski suurenee johdon käyttöä pidentyessä. Ylävartalon käyttökelpoisen laskimoreitin puuttuminen, poikkeava anatomia tai mekaaninen kolmiliuskaläppäproteesi voivat myös estää tavanomaisen tahdistinjohtojen asennuksen. Johdottomalla tahdistimella voidaan välttää tahdistinjohtoihin liittyviä

TIETOLAATIKKO. Lyhenteitä.

ATP = antitakykardiatahdistus, antitachycardia pacing

CRT = vajaatoimintatahdistus eli biventrikulaarinen tahdistus, sydäntä synkronoiva tahdistus, cardiac resynchronization therapy

HBP = Hisin kimpun tahdistus, His bundle pacing

ICD = rytmihäiriötahdistin, implantable cardioverter defibrillator

PICM = tahdistimen aiheuttama kardiomyopatia, pacemaker-induced cardiomyopathy

S-ICD = ihonalainen rytmihäiriötahdistin, subcutaneous implantable cardioverter defibrillator

TAULUKKO 1. Tahdistinhoitoon liittyvät komplikaatiot.

Tahdistimen asennukseen liittyvät komplikaatiot
Tahdistinjohdon irtoaminen
Tahdistintaskun verenpurkauma
Ilmarinta
Veririnta (hemothorax)
Ilmaembolia
Sydänperforaatio
Tamponaatio
Tahdistinjärjestelmään liittyvät komplikaatiot
Johtovaurio
Kolmiliuskäläpän vuoto
Laskimotukos
Tahdistimen toimintaan liittyvät komplikaatiot
Tahdistinoireyhtymä ¹
Tahdistintakykardia
Sydämen vajaatoiminta
Eteisvärinä
Palleanykinä
Epätarkoituksenmukaiset iskuhoidot (ICD)
Infektiokomplikaatiot
Tahdistintaskun infektio
Erosio
Yleisinfektio (sepsis, endokardiitti)

¹Eteis-kammiodyssynkronian aiheuttama minuuttitilavuuden pieneneminen ja siitä johtuvat oireet (huimaus, hypotonia, hengenahdistus, voimattomuus, sydämen vajaatoiminnan oireet)

haittoja ja rajoitteita. Rytmihäiriötahdistinhdossa potilaalle voidaan erityistapauksissa asentaa kokonaisuudessaan ihonalainen laite.

Myös oikean kammion tahdistus itsessään voi olla haitallista. Tahdistus oikean kammion kärjestä aiheuttaa epänormaalin sydänlihaksen sähköisen aktivaatiojärjestyksen samaan tapaan kuin vasemman puolen haarakatkos (LBBB), jolloin vasemman kammion supistuminen viivästyy. Tämä voi johtaa kammiodyssynkroniaan ja siitä seuraaviin epäedullisiin hemodynaamisiin muutoksiin, vasemman kammion muovautumiseen, perfuusion häiriintymiseen ja lopulta oireiseen sydämen vajaatoimintaan (pacemaker-induced cardiomyopathy, PICM). Myös eteisvärinän riski suurenee kumulatiivisen oikean kammion tahdistuksen lisääntyessä. PICM kehittyy arviolta viidennekselle potilaisista, joilla oikean kammion tahdistuskuorma on yli 20 % (1).

Haitallisinta oikean kammion tahdistus on potilaille, joiden vasemman kammion systolinen toiminta on jo ennestään huonontunut. Mikäli hidasyöntisyystahdistusta tarvitsevalla potilaalla todetaan lievästikin huonontunut vasemman kammion systolinen toiminta (ejektiofraktio < 50 %) tai vasemman kammion toiminta huononee tahdistinhdon myötä, tulisi oikean kammion tahdistuksen sijaan pyrkiä fysiologisempaan tahdistukseen asentamalla johto myös vasemman kammion alueelle. Vaihdoehtoisesti voidaan harkita tahdistusta johtoradan alueelta asentamalla tahdistinjohto proksimaalisen His–Purkinjen säikeistön alueelle.

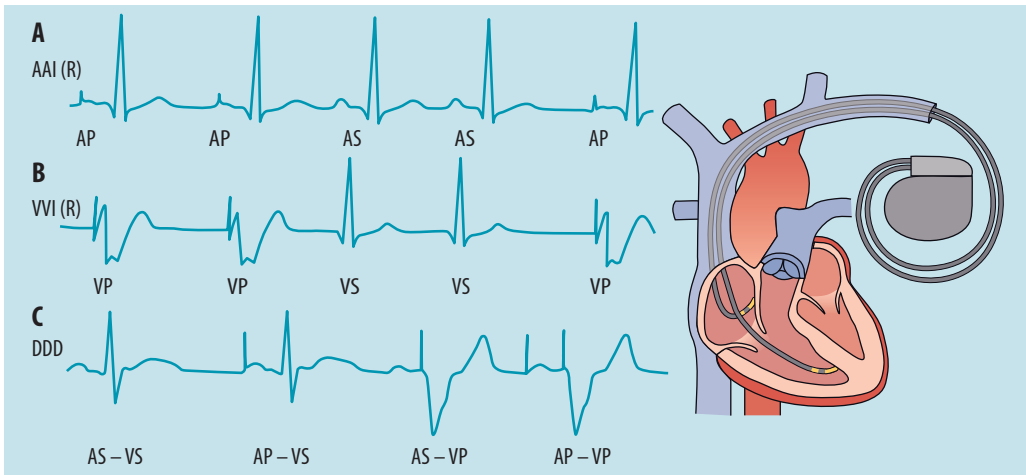
Hidaslyöntisyystahdistus

Tahdistinhoito on oireisen hidasyöntisyyden ainoa tehokas pitkäaikaishoito. Sinussolmukkeeseen toimintahäiriö (sairas sinus -oireyhtymä, SSS) ja eteis-kammiokatkos (AV-katkos) ovat pääasialliset pysyvän tahdistuksen aiheet. Tahdistimella hoidetaan myös hankalaoireista heijasteperäistä synkopeeta, johon liittyy merkittävä hidasyöntisyys (2).

Tahdistustavan valinta on pitkään ollut kokemusperäistä, eikä satunnaistetuissa tutkimuksissa ole juuri voitu osoittaa eroa päätetapahtumissa (kuolleisuus, aivohalvaukset, vajaatoiminta) verrattaessa yksi- ja kaksilokeroisia tahdistimia toisiinsa (3). Sinusrytmien aikaisen eteis-kammiosynkronian säilyttäminen DDD-tahdistuksella on yleensä koettu hyödylliseksi, koska tällöin vältetään mahdolliset tahdistinoireyhtymästä aiheutuvat oireet ja eteisvärinää esiintyy vähemmän.

Käytännössä yksilokeroista tahdistinta käytetään nykyään vain pysyvään eteisvärinään liittyvän hidasyöntisyyden hoidossa tai harvoin kohtauksina esiintyvän asystolen estossa. Oikean kammion tahdistusta kammioväliseinästä läheltä johtorataa pidetään fysiologisempänä kuin tahdistusta kammion kärjestä, mutta vakuuttavaa tutkimusnäyttöä sen paremmuudesta ei ole huolimatta hieman kapeammasta tahdistetusta QRS-heilahduksesta.

Tahdistustapa valitaan hidasyöntisyyden syyn mukaan (KUVA 1). Sinussolmukkeeseen toimintahäiriössä korjataan hidasyöntisyys ja



KUVA 1. Hidaslyöntisyyden tahdistustavat. Tahdistimen toimintatapa ilmaistaan kansainvälisesti sovitulla neljän kirjaimen yhdistelmällä. Koodin ensimmäinen merkki osoittaa lokeroa, jota tahdistetaan ja toinen lokeroa, jota tunnustetaan (A = eteinen, V = kammio, D = molemmat, O = ei kumpikaan). Kolmas merkki osoittaa toiminnan luonnetta (I = tunnistuksen estämä, D = tunnistuksen joko estämä tai aktivoima, T = käynnistetty, O = ei kumpikaan). Neljäs kirjain ilmaisee tahdistimen lisäominaisuuksia (R = tahdistuksen taajuus säätyy sensorin avulla). AP = eteistahdistus, AS = eteistunnistus, VP = kammiotahdistus, VS = kammiotunnistus

puutteellinen sykkeen tiheneminen tahdistamalla vain eteisiä ja suosimalla luontaista eteis-kammiojohtumista. Kammiojohtolla turvataan riittävä syketiheys eteis-kammiojohtumisen heiketessä tai hitaan eteisvärinän aikana. Tarpeettoman kammiotahdistuksen välttämiseksi tahdistimissa on automaattisia hakualgoritmeja, jotka pidentävät tahdistimen eteis-kammioviivettä ja näin edistävät potilaan oman luonnollisen eteis-kammiojohtumisen esilletuloa.

Täydellisessä eteis-kammiokatkokuksessa sinussolmukkeen toimiessa normaalisti saadaan eteisohjatulla kammiotahdistuksella palautettua eteisten ja kammioiden yhteistoiminta ja normaali sykkeen vaihtelu. Mikäli tavanomainen oikean kammion tahdistus osoittautuu potilaalle haitalliseksi ja johtaa hankalaoireiseen vasemman kammion vajaatoimintaan (ejektiofraktio $\leq 35\%$), tahdistin on syytä päivittää bi-ventrikulaariseksi.

Rytmihäiriötahdistinhoito (ICD)

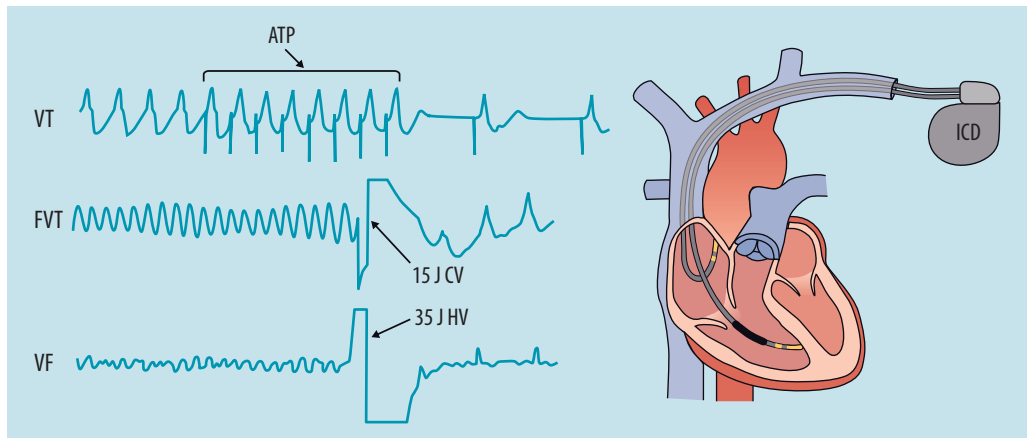
Rytmihäiriötahdistin (ICD) on osoittautunut tehokkaaksi henkeä uhkaavien kammiooperäisten rytmihäiriöiden hoidossa ja äkkikuoleman estossa. ICD-hoitoa käytetään sekä sekundaari-preventiossa sydänpysähdyksen jälkeisessä hoi-

dossa että primaaripreventiossa ehkäisemään suuren riskin potilaiden ensimmäisen kammiovärinän tai kammiotakykardian aiheuttama sydänpysähdys.

Profylaktisen ICD:n asennusta suositellaan sairastetun sydäninfarktin jälkeen, jos vasemman kammion toiminta jää huonoksi (ejektiofraktio $\leq 30\text{--}35\%$). Muista syistä johtuvan vaikean vajaatoiminnan yhteydessä ICD-hoitoa suositellaan samoin edellytyksin. Profylaktinen ICD voidaan tietyn edellytyksin asentaa myös potilaalle, jolla on perinnöllinen sydänlihaskohtaus- tai rytmihäiriösairaus, johon liittyy suuri äkkikuoleman vaara (esimerkiksi hypertrofinen kardiomyopatia ja oikean kammion arytmoogeeninen kardiomyopatia) (4).

ICD seuraa sydämen rytmiä jatkuvasti ja hoitaa henkeä uhkaavat kammiooperäiset rytmihäiriöt laitteen ohjelmoinnin mukaan joko muutaman herätteen kestoisella hoidettavan takykardian taajuutta nopeammalla ylitahdistuksella (ATP), synkronoidulla rytminsiirrolla tai defibrilloimalla (KUVA 2). Lisäksi laitteessa on tavanomainen hidaslyöntisyyden tahdistus (VVI, DDD).

ICD-hoidon tavallisin komplikaatio ovat epäasianmukaisesti annetut defibrillaatiot, joita esiintyy jopa viidenneksellä potilaista (5).



KUVA 2. Rytmihäiriötahdistimen toiminta. Rytmihäiriötahdistimen (ICD) johto asennetaan oikeaan kammioon. Samassa johtorakenteessa tunnistavan ja tahdistavan elektrodin kanssa on defibrillaatiota varten kookas isku-elektrodi. Laite pysäyttää yhdenmuotoisen kammiotakykardian (VT) takykardiaa nopeammalla yhdellä tai useammalla ylitaahdistussarjalla (ATP). Mikäli VT ei tällä hoidu, hoitona on synkronoitu rytminsiirto (CV) tai suurenergiainen defibrillaatio (HV). Kammiovärinän (VF) hoidossa ennen defibrillaatiota laite antaa ATP-hoidon kondensaattorin latautumisen aikana ja tämän jälkeen defibrilloivan iskun, mikäli rytmi ei ATP:llä käänny. Tarvittaessa laite antaa rytmin kääntymisen jälkeen tavanomaista hidasllyöntisyden tahdistusta.

FVT = nopea kammiotakykardia

Epäasianmukaiset iskuhoidot ovat kivuliaita, kuluttavat laitteen virtaa ja pahimmillaan voivat johtaa todellisen kammiorytmihäiriön syntyyn tai aiheuttaa sydämen vajaatoimintaa. Suurin osa tarpeettomista iskuhoidoista annetaan nopeisiin eteisperäisiin rytmihäiriöihin. Tarpeettomia iskuja voidaan estää tunnistussäätöjen ja rytmin erottelu algoritmien asianmukaisella ohjelmoinnilla.

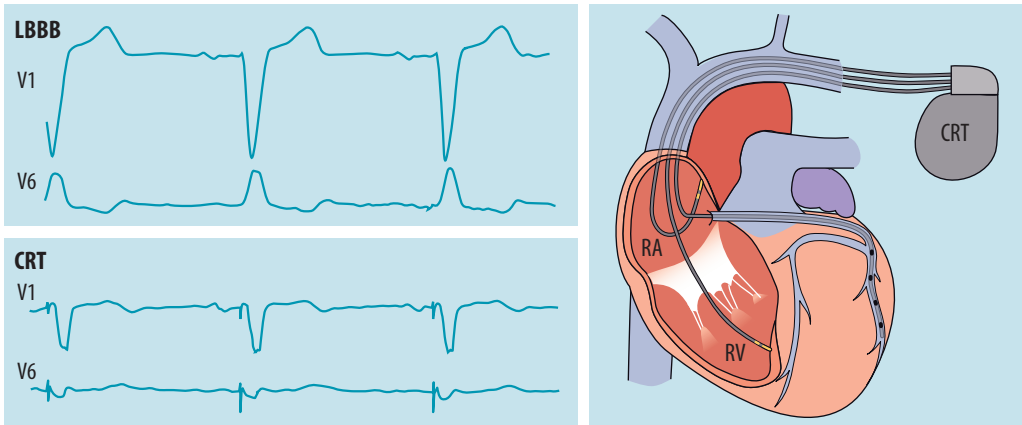
Sydäntä synkronoiva tahdistus (CRT)

Biventrikulaarinen tahdistus on osoittautunut tehokkaaksi hoidoksi vaikeassa sydämen vajaatoiminnassa (vasemman kammion ejectionifraktio $\leq 35\%$), kun vajaatoimintaan liittyy kammionsisäisen johtumishäiriön aiheuttama dyssynkroninen kammiosupistus (QRS-heilahdus ≥ 130 ms). Vakuuttavin näyttö CRT-hoidon hyödystä on sinusrytmissä olevista oireisista vajaatoimintapotilaista, joiden EKG:ssä todetaan vasemman puolen haarakatkos (LBBB) ja joilla QRS-heilahduksen kesto on yli 150 ms. Muun kuin LBBB-tyyppisen kammionsisäisen johtumishäiriön osalta näyttö CRT-hoidon hyödystä vajaatoiminnan hoidossa on vähäisempi, ja vajaatoimintatahdistimen asennusta suositellaan harkittavaksi vain vaikeaoireisille potilaille (6).

Tutkimusnäyttö eteisvärinäpotilaiden CRT-hoidon hyödystä on vähäistä. Kuitenkin myös vaikeaoireiset eteisvärinäpotilaat näyttävät hyötyvän CRT-hoidosta, jos muut hoidon edellytykset täyttyvät, etenkin yhdistettynä eteiskammiosolmukkeen katetriablaatioon, jolloin päästään jatkuvaan biventrikulaariseen tahdistukseen.

Oikean kammion tahdistuksen mahdollisten haittojen takia CRT-tahdistusta suositellaan riippumatta QRS-heilahduksen morfologiasta tai leveydestä harkittavaksi myös potilaille, joiden vasemman kammion toiminta on lievästi heikentynyt sekä joilla on aihe hidasllyöntisyystahdistukselle ja runsas kammiotahdistuksen tarve (tahdistettuja lyöntejä yli 40%) (6).

CRT-tahdistuksen tavoite on palauttaa vasemman kammion supistumisen synkronia. Viivästyneesti supistuva vasemman kammion sivuseinäämä saadaan supistumaan samanaikaisesti muun kammion kanssa tahdistamalla kammiota biventrikulaarisesti vastakkaisilta puolilta. Tavanomaisen oikean kammion tahdistinjohton lisäksi potilaalle asennetaan tahdistinjohto epikardiaalisesti sijaitsevaan sepel-laskimohaaraan vasemman kammion sivuseinämälle (KUVA 3). Erytistilanteissa vasemman



KUVA 3. Sydäntä synkronoiva tahdistus (CRT). Biventrikulaarinen tahdistin, jonka tahdistinjohdot oikeassa eteisessä (RA), oikeassa kammiossa (RV) ja nelinapainen johto vasemman kammion sivuseinäällä sepelpoukaman (sinus coronarius) lateraaliossa laskimohaarassa sydämen pinnalla. Biventrikulaarinen tahdistus korjaa LBBB:n aiheuttaman dyssynkronisen kammioseinämiä supistuksen, mikä EKG:ssä näkyy kapeampana tahdistettuna QRS-heilahduksena.

LBBB = vasemman puolen haarakatkos

kammion johto voidaan kiinnittää myös epikardiaalisesti suoraan vasemman kammion sivuseinämälle joko torakoskooppisesti tai muun sydänkirurgian yhteydessä.

Asianmukainen vasemman kammion johdon paikka on hoitovasteen kannalta määräävin tekijä, jolloin johtumishäiriön leventäminen QRS-heilahdus kapenee myös eniten. CRT-tahdistin toimii sinusrytmissä DDD-tahdistimen tapaan, mutta ohjelmoituna jatkuvaan biventrikulaariseen tahdistukseen kaikilla syketaajuuksilla. Eteisvärinän aikana kammioita tahdistetaan biventrikulaarisesti sensorin ohjaamana (VVIR).

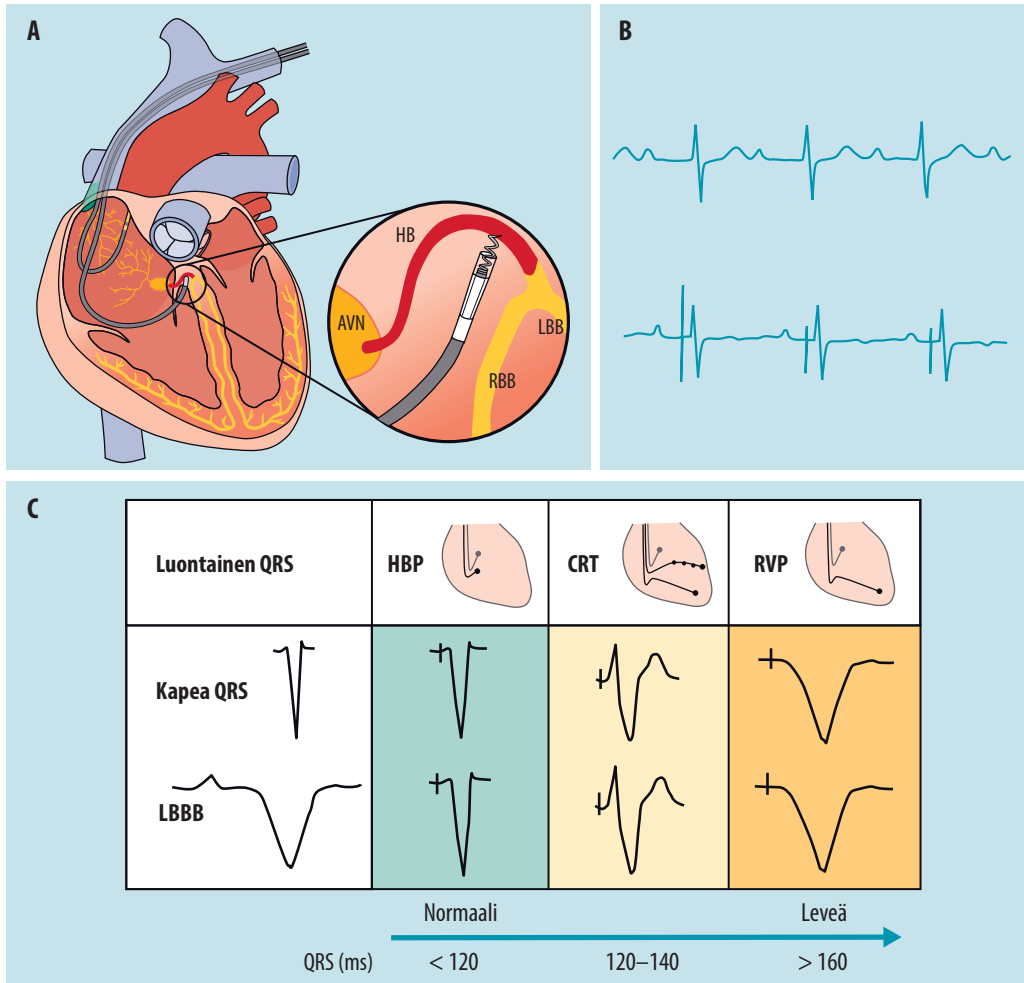
Kliiniset tutkimukset ovat osoittaneet, että CRT-hoito vähentää vajaatoiminnasta johtuvaa sairastavuutta ja kuolleisuutta sekä parantaa sydämen toimintaa, kun potilaat on valittu asianmukaisesti (7). LBBB:n (QRS > 150 ms) lisäksi naissukupuoli, ei-iskeeminen kardiomyopatia ja vähäisempi sydänlihaksen fibroosi ennustavat parempaa hoitovastetta.

Arviolta 20–30 % vajaatoimintapotilaista ei hyödy CRT-tahdistimesta (8). Anatomisista syistä tai infarktiarven takia johtoa ei aina saada optimaaliseen paikkaan. Syninä voivat olla myös suboptimaalinen lääkitys ja tahdistimen säädöt, joiden takia biventrikulaarisen tahdistuksen määrä jää vajaaksi (alle 90 %). Synkroniaa voidaan optimoida tahdistimen asentamisen

jälkeen muuttamalla tahdistinimpulssien ajoitusta tai tahdistusnapoja.

Nykyisin yleisimmin käytettävät nelinapaiset vasemman kammion johdot mahdollistavat useiden vaihtoehtoisten tahdistusvektorien käytön ja osassa laitteista tahdistamisen samanaikaisesti myös useammasta navasta, mikä aktivoi sydänlihasta laajemmalla alueella (9). Tahdistusnapoja voidaan joutua vaihtamaan myöhemmässä vaiheessa myös vasemman kammion johdon aiheuttaessa palleanykinää tai tahdistuskynnyksen nousun takia. Parempaa CRT-hoitovastetta on tavoiteltu endokardiaalisella vasemman kammion tahdistuksella, mutta laajempimittaista käyttöönnottoa rajoittavat huomattavat asennus- ja tromboembolisten komplikaatioiden riskit (10,11).

Vajaatoimintatahdistimeen voidaan yhdistää ICD-ominaisuus (CRT-D), kun sekä vajaatoimintatahdistimen että rytmihäiriötahdistimen asennusaiheet täyttyvät. Profylaktisesta biventrikulaarisesta rytmihäiriötahdistimesta (CRT-D) näyttäisivät hyötyvän ensisijaisesti potilaat, joilla vajaatoiminnan taustalla on iskeeminen sydänsairaus (12,13). Ei-iskeemisen vajaatoiminnan yhteydessä tavanomainen biventrikulaarinen tahdistus (CRT-P) itsessään vähentää äkkikuoleman riskiä, eikä ICD-ominaisuudesta juuri saada lisähyötyä lukuun ottamatta nuorempia potilaita.



KUVA 4. Hisin kimpun tahdistus (HBP). (A) Oikean kammion tahdistinjohto asennetaan oikean eteisen puolelle kolmiliuskaläpän yläpuolelle Hisin kimpun tyvialueelle oikean kammion väliseinän sijaan. Sähköinen aktivaatio etenee nopeasti johtoratajärjestelmää pitkin ja aktivoi kammiot yhtäaikaisesti. (B) EKG:ssä tahdistettu QRS-heilahdus säilyy kapeana, mikä mahdollistaa eteis-kammiokatkoksen korjaamisen aiheuttamatta kammiodyssynkroniaa. (C) Eteis-kammiokatkoksen hoitoon käytetyistä tahdistustavoista ainoastaan HBP mahdollistaa täysin fysiologisen kammiodien aktivaation ja myös vasemman puolen haarakatkos (LBBB) voi korjaantua.

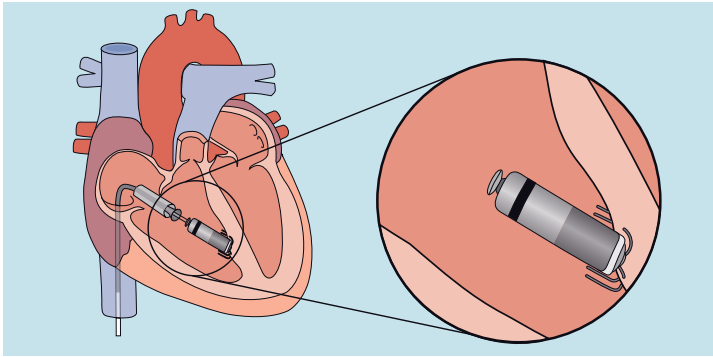
AVN = eteis-kammiosolmuke, CRT = biventrikulaarinen tahdistus, HB = Hisin kimppe, LBB = johtoradan vasen haara, RBB = johtoradan oikea haara, RVP = oikean kammion tahdistus

Hisin kimpun tahdistus (HBP)

Hisin kimpun tahdistus (HBP) on käypä fysiologinen vaihtoehto oikean kammion tahdistukselle, kun halutaan välttää tavanomaisen oikean kammion tahdistuksen aiheuttaman kammiodyssynkronian mahdollinen haitta. Alustavan tutkimustiedon perusteella HBP on hankalan vajaatoiminnan hoidossa vähintään yhtä tehokas CRT-hoitoon verrattuna, mutta

laajat satunnaistetut HBP-tutkimukset ovat vasta meneillään (14).

Suosituksen vielä puuttuessa HBP on nopeasti yleistynyt etenkin eteis-kammiokatkoksen hoidossa, kun vasemman kammion pumppeusteho on lievästi heikentynyt ja kammio-tahdistusta tarvitaan lähes jatkuvasti. Erityisesti HBP:stä näyttäisivät hyötyvän kroonista eteisvärinää sairastavat, joille on nopean kammiovasteen takia tehty eteis-kammiosolmukkeen katkaisu katetriablaatiolla (15). HBP:tä



KUVA 5. Johdoton tahdistin. Noin 2,5 cm pitkä tahdistinkapseli viedään nivuslaskimoreittiä myöten sydämen sisään ja kiinnitetään oikeaan kammioon taipuisien nitinolihaakasten avulla. Tahdistinkapseli sisältää virtalähteen ja liikesein.

on käytetty myös CRT-hoidon vaihtoehtona, kun anatomisista tai muista syistä sepelpoukkaan ei ole saatu asennettua tahdistinjohtoa tai hoitovaste on ollut huono.

HBP:ssä tahdistinjohto asennetaan kammion johtoratajärjestelmän tyvialueelle Hisin kimpun alueelle, jolloin sähköinen aktivaatio kulkee fysiologisesti sekä oikeaa että vasenta johtoratajärjestelmän haaraa pitkin sydänlihaksen (KUVA 4). Näin ohitetaan heikentyneen johtumisen alue eteis-kammiosolmukkeessa. HBP:llä aikaansaattava kammiodepolarisaatio on EKG:ssä kapea ja luontaisen QRS-heilahduksen kaltainen. Tietyissä tilanteissa HBP korjaa myös haarakatkoksen leventämällä QRS-heilahduksen normaaliksi. Distaalisempien johtumishäiriöiden hoitoon se ei kuitenkaan sovellu, eikä sitä suositella sarkoidoosiin tai muihin kammioväliseen affioioviin sydänlihassairauksiin liittyvän eteis-kammiokatkoksen hoitoon.

Johdoton tahdistin ja ihonalainen rytmihäiriötahdistin (S-ICD)

Hidaslyöntisyyden korjaava tahdistus on mahdollista toteuttaa myös ilman johtoja. Johdoton tahdistinkapseli viedään nivuslaskimoreittiä pitkin sydämen sisään ja kiinnitetään oikeaan kammioon (KUVA 5). Tahdistinkapseli itsessään sisältää virtalähteen eikä erillistä tahdistingeneraattoria tarvita. Tavanomaiseen tahdistinjärjestelmään verrattuna johdottomaan tahdistimeen liittyy vähemmän komplikaatioita (16). Varsinkin infektioriski on äärimmäisen pieni.

Johdoton tahdistin on käypä vaihtoehto etenkin, jos solislaskimoreitissä on ongelmia tai

infektioriski on suurentunut. Johdoton tahdistus onnistuu toistaiseksi vain kammiotahdistuksena, mikä rajoittaa sen käyttöä. Pääasiallisin käyttöaihe on iäkkään potilaan hitaan eteisvärinän tahdistinhoito. Hiljattain on kuitenkin tullut käyttöön eteisohjatun kammiotahdistuksen mahdollistava tekniikka (17), ja todennäköisesti lähitulevaisuudessa myös eteistahdistus voidaan toteuttaa johdottomasti. Myös CRT-hoitoon on kehitetty johdoton vasemman kammion elektrodi (11).

Rytmihäiriötahdistinhoitokin voidaan toteuttaa ilman sydämen sisään asennettavia johtoja. Ihonalainen rytmihäiriötahdistin (S-ICD) asennetaan kokonaan sydämen ulkopuolelle (KUVA 6). Siihen ei liity samanlaisia tahdistinjohto- tai tahdistintaskuongelmia kuin tavanomaiseen rytmihäiriötahdistimeen (18). S-ICD tunnistaa kammiorytmihäiriön ja kykenee pysäyttämään sen defibrilloimalla, mutta kivutonta kammiotakykardian ylitahdistushoitoa sillä ei voida antaa. S-ICD:tä ei myöskään voida käyttää hidasleyöntisyyden hoitoon kuten perinteistä rytmihäiriötahdistinta.

Lähitulevaisuudessa S-ICD ja johdoton tahdistin voitaneen yhdistää samaan järjestelmään, jolloin kyetään johdottomasti antamaan tahdistusta hidasleyöntisyyteen, ylitahdistusta kammiotakykardiaan ja defibrillaatio kammiovärinä. S-ICD on hyvä vaihtoehto potilaille, joille johtojen asentaminen laskimoteitse on poikkeavan anatomian vuoksi vaikeaa tai mahdotonta (esimerkiksi monimutkaiset synnynäiset sydänvial). S-ICD on käypää hoitoa myös nuorille potilaille, joiden rytmihäiriötahdistinhoito on todennäköisesti pitkäaikaista ja halutaan välttää vuosien aikana kehittyvät johto-on-

Ydinasiat

- ▶ Hidaslyöntisyyden tahdistus voidaan toteuttaa myös johdottomalla oikean kammion tahdistimella, jolloin vältetään laskimoteitse asennettaviin tahdistinjohtoihin liittyvät ongelmat.
- ▶ Rytmihäiriötahdistinhoito ihonalaisella ICD:llä ilman laskimojohtoja on ensisijainen vaihtoehto nuorten potilaiden äkki-kuoleman estämiseksi, kun hidaslyöntisyyden tai vajaatoiminnan tahdistinhoitoa ei tarvita.
- ▶ Hisin kimpun tahdistuksella voidaan hoitaa hidaslyöntisyyttä ilman pitkäkestoisen oikean kammion tahdistuksen mahdollisesti aiheuttamaa haittaa sydämen toiminnalle.
- ▶ Hisin kimpun tahdistusta voidaan harkita vajaatoimintatahdistinhoidon (CRT) vaihtoehtoksi, jos potilaalla on eteis-kammiokatkos ja vasemman kammion toiminta on heikentynyt tai CRT-hoito ei ole mahdollista.
- ▶ Langaton etäseuranta mahdollistaa jatkuvan ja vaivattoman tahdistinpotilaan seurannan.

gelmat. Tavallinen S-ICD:n asennuksen aihe on myös aiempi rytmihäiriötahdistimen infektio.

Seuranta

Lähtökohtaisesti tahdistinhoito on elinikäistä. Laitteen toimintavalmiutta ja hoidon toteutumista seurataan joko polikliinisesti tai etäyhteyden välityksellä (KUVA 7). Rytmihäiriötahdistinhoidossa etäseuranta on ensisijainen seurantatapa, joka uudemman laitekannan osalta määräväliajoin ohjelmoitujen lähetysten lisäksi hälyttää ajantasaisesti havaituista teknisistä ongelmista tai kliiniseen tilaan liittyvistä tapahtumista kuten rytmihäiriön hoidosta.

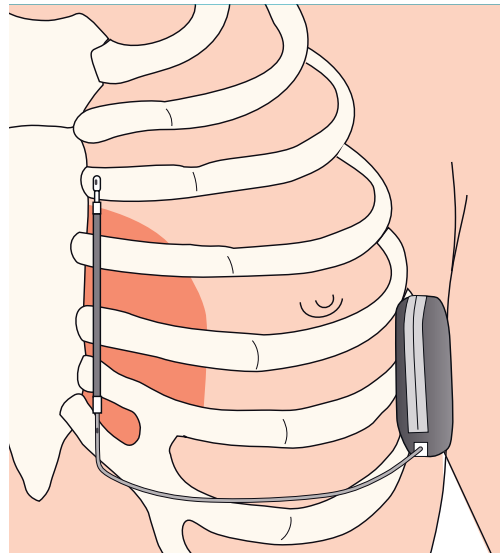
Vajaatoimintapotilaiden CRT-tahdistimet seuraavat myös biventrikulaarisen tahdistuksen määrää ja useita fysiologisia parametreja kuten sykevaihtelua ja nestekuormaa. Uudempiin

CRT-laitteisiin voidaan liittää myös tekoälypohjaista diagnostiikkaa, jossa laitealgoritmi yhdistää useamman sensorin keräämää mitaustietoa ja hälyttää etäseurantaan ennakoivissaan kliinisen tilan muutosta (19).

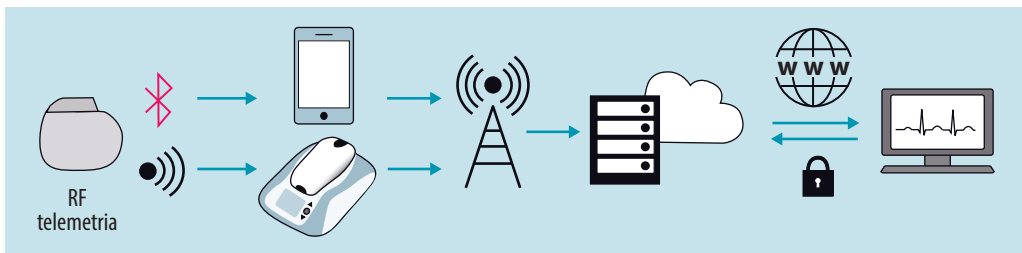
Tahdistimen vaihto

Tahdistimen käyttöikä on nykyisellä paristoteknologialla ja tahdistuspiirin tehonkulutuksesta optimoivilla algoritmeilla vähintään 10–15 vuotta. ICD- ja CRT-laitteiden käyttöikä on hieman lyhyempi. Tahdistimen vaihtoihin ja uusintatoimenpiteisiin liittyy huomattavasti ensiasennusta suurempi infektiokomplikaatioiden riski. Erityistapauksissa tahdistin voidaan jättää vaihtamatta, mikäli potilas ei enää tarvitse tahdistusta (esimerkiksi eteistahdistinpotilaalle kehittyvä pysyvä eteisvärinä) tai perustetta profylaktiselle ICD-hoidolle ei ole. Saattohoitoon siirryttäessä ICD:n iskutoiminnot voidaan deaktivoida potilaan suostumuksella.

Sydämentahdistimet ovat ongelmajätettä, joten potilaan kuoltua ne tulee poistaa ja hävittää asianmukaisesti hautaustavasta riippumatta.



KUVA 6. Ihonalainen rytmihäiriötahdistinhoito (S-ICD). Johto viedään ihon alle rintalastan viereen ja tunneloidaan kylkeen. Johto yhdistetään generaattoriin, joka kiinnitetään lihastaskuun etummaisen sahalihaksen (m. serratus anterior) ja leveän selkälihaksen (m. latissimus dorsi) väliin.



KUVA 7. Tahdistimen etäseuranta. Potilaan tahdistinlaitteesta tiedot siirtyvät langattomasti joko radiotaajuus (RF)- tai Bluetooth-yhteydellä erilliseen lähetinyksikköön tai induktiivisesti potilaan itsensä käyttäessä lähetinyksikön lukupäätä tahdistimen päällä. Uusimmissa laitteissa lähetinyksikkönä voi toimia myös potilaan älypuhelin, johon on ladattu etäseurantasovellus. Lähetinyksiköstä tiedot välittyvät langattomasti verkkoyhteydellä (Wi-Fi tai mobiiliverkko) suojattuun internetpalvelimeen, josta ne voidaan tarkistaa kirjautumalla etäseurannan verkkosivulle.

Sähkömagneettinen yhteensopivuus

Nykyiset tahdistimet on erinomaisen hyvin suojattu ympäristön sähkömagneettisilta kentiltä. Sähkömagneettisten kenttien aiheuttamien häiriöiden mahdollisuuteen on kuitenkin varauduttava tietyissä lääketieteellisissä toimenpiteissä (**TAULUKKO 2**).

Nykyisin asennettavat tahdistinjärjestelmät ovat magneettikuvausyhteensopivia, edellyttäen asianmukaisia kuvauksenaikaisia säädöksiä. Vanhemmankin laitekannan osalta 1,5 teslan magneettikuvaukseen liittyvä komplikaatoriski on vähäinen (20). Epikardiaalinen tai hylätty toimimaton tahdistinjohto voi kuitenkin olla magneettikuvauksen vasta-aihe. Myös tahdistinpotilaan sädehoito on yleensä turvallista alle 10 MV:n hoitoenergialla.

Lopuksi

Tahdistinhoidon aiheen tulee olla selkeä ja laitetyypin valinnan perustua huolelliseen kliiniseen arvioon. Tekniset laiteinnovaatiot ja kliiniseen tutkimustietoon perustuvat laajenevat

TAULUKKO 2. Tahdistimen toimintaan vaikuttavia sähkömagneettisia häiriölähteitä¹.

Magneettikuvauslaitteet
Psykiatrinen sähköhoito (ECT)
Kehonulkoinen kivenmurskaus (litotripsia, ESWL)
Kirurginen diatermia
Hermostimulaattorit
Transkutaaninen hermostimulaatio (TENS)
Radiotaajuushoito (RF-ablaatio)
Magneettiohjatut toimenpiteet
Ionisoiva säteily
Sädehoito

¹Mikäli potilas on täysin tahdistuksesta riippuvainen (korvausrytmi alle 30/min) ja häiriöriski suuri (esimerkiksi magneettikuvaus), tahdistin on säädettävä toimenpiteen ajaksi pakkotahdistukselle (AOO, VOO, DOO). ICD-laitteiden takykardiatoiminnot (iskut, ylitahdistus) deaktivoidaan toimenpiteen ajaksi joko ohjelmointilaitteella tai asettamalla tahdistingeneraattorin päälle magneetti, jolloin hidasyöntisyyden tahdistus jatkuu normaalisti. Magneetin asettaminen hidasyöntisyydestä tahdistimen päälle muuttaa tahdistustavan pakkotahdistukselle.

tahdistinhoidon aiheet mahdollistavat oikein valituille potilaille entistä tehokkaamman ja turvallisemman rytmihäiriöiden ja sydämen vajaatoiminnan hoidon. ■

ULLA-MAIJA KOIVISTO, LT, kardiologian erikoislääkäri
JUHANI JUNTILA, professori, kardiologian erikoislääkäri
 OYS, kardiologian osasto

JARKKO KARVONEN, LT, kardiologian erikoislääkäri
 HUS Sydän- ja keuhkokeskus

VASTUUTOIMITTAJA
 Jussi Naukarinen

SIDONNAISUUDET

Ulla-Maija Koivisto: Korvaukset koulutus- ja kongressikuluista (Abbott, Biotronik, Boston Scientific, Medtronic)

Juhani Juntila: Luento-/asiantuntijapalkkio (Sanofi, Astra Zeneca, Boehringer Ingelheim, MSD, Bayer, Pfizer), luottamustoimet (Sydäntutkimussäätiö tieteellinen asiantuntijavaliokunta, OYS-ERVA tutkimustoimikunta, FinnGen steering committee), tutkimusraha (Abbot Medical Finland), muut sidonnaisuudet (Oulun Sydänkeskus)

Jarkko Karvonen: Luentopalkkio/asiantuntijapalkkio (Abbott, Medtronic), korvaukset koulutus- ja kongressikuluista (Abbott, Biotronik, Boston Scientific, Medtronic)

KIRJALLISUUTTA

1. Khurshid S, Epstein AE, Verdino RJ, ym. Incidence and predictors of right ventricular pacing-induced cardiomyopathy. *Heart Rhythm* 2014;11:1619–25.
2. Brignole M, Auricchio A, Baron-Esquivias G, ym. 2013 ESC guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy: the task force on cardiac pacing and resynchronization therapy of the European Society of Cardiology (ESC). Developed in collaboration with the European Heart Rhythm Association (EHRA). *European Society of Cardiology (ESC); European Heart Rhythm Association (EHRA). Europace* 2013;15:1070–118.
3. Riahi S, Nielsen JC, Hjortshøj S, ym. Heart failure in patients with sick sinus syndrome treated with single lead atrial or dual-chamber pacing: no association with pacing mode or right ventricular pacing site. *Europace* 2012;14:1475–82.
4. Priori SG, Blomström-Lundqvist C, Mazzanti A, ym. 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: the task force for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC). *Eur Heart J* 2015;36:2793–867.
5. van Rees JB, Borleffs CJ, de Bie MK, ym. Inappropriate implantable cardioverter-defibrillator shocks: incidence, predictors, and impact on mortality. *J Am Coll Cardiol* 2011;57:556–62.
6. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, ym. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: the task force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J* 2016;37:2129–200.
7. Linde C, Ellenbogen K, McAlister FA. Cardiac resynchronization therapy (CRT): clinical trials, guidelines, and target populations. *Heart Rhythm* 2012;9:3–13.
8. Auricchio A, Prinzen FW. Non-responders to cardiac resynchronization therapy: the magnitude of the problem and the issues. *Circ J* 2011;75:521–7.
9. Niazi I, Baker J 2nd, Corbisiero R, ym. Safety and efficacy of multipoint pacing in cardiac resynchronization therapy: the MultiPoint pacing trial. *JACC Clin Electrophysiol* 2017;3:1510–8.
10. Gamble JHP, Herring N, Ginks M, ym. Endocardial left ventricular pacing for cardiac resynchronization: systematic review and meta-analysis. *Europace* 2018;20:73–81.
11. Reddy VY, Miller MA, Neuzil P, ym. Cardiac resynchronization therapy with wireless left ventricular endocardial pacing: the SELECT-LV study. *J Am Coll Cardiol* 2017;69:2119–29.
12. Køber L, Thune JJ, Nielsen JC, ym. Defibrillator implantation in patients with nonischemic systolic heart failure. *N Engl J Med* 2016;375:1221–30.
13. Barra S, Boveda S, Providência R, ym. Adding defibrillation therapy to cardiac resynchronization on the basis of the myocardial substrate. *J Am Coll Cardiol* 2017;69:1669–78.
14. Upadhyay GA, Vijayarajan P, Nayak HM, ym. His corrective pacing or biventricular pacing for cardiac resynchronization in heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2019;74:157–9.
15. Slotwiner DJ, Raitt MH, Del-Carpio Munoz F, ym. Impact of physiologic pacing versus right ventricular pacing among patients with left ventricular ejection fraction greater than 35%: a systematic review for the 2018 ACC/AHA/HRS guideline on the evaluation and management of patients with bradycardia and cardiac conduction delay: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on clinical practice guidelines and the Heart Rhythm Society. *Circulation* 2019;140:483–503.
16. Duray GZ, Ritter P, El-Chami M, ym. Long-term performance of a transcatheter pacing system: 12-month results from the micra transcatheter pacing study. *Heart Rhythm* 2017;14:702–9.
17. Chinitz L, Ritter P, Khelae SK, ym. Accelerometer-based atrioventricular synchronous pacing with a ventricular leadless pacemaker: results from the micra atrioventricular feasibility studies. *Heart Rhythm* 2018;15:1363–71.
18. Kaya E, Rassaf T, Wakili R. Subcutaneous ICD: current standards and future perspective. *Int J Cardiol Heart Vasc* 2019;24:100409.
19. Boehmer JP, Hariharan R, Devecchi FG, ym. A multisensor algorithm predicts heart failure events in patients with implanted devices: results from the MultiSENSE study. *JACC Heart Fail* 2017;5:216–25.
20. Russo RJ, Costa HS, Silva PD, ym. Assessing the risks associated with MRI in patients with a pacemaker or defibrillator. *N Engl J Med* 2017;376:755–64.

SUMMARY

Cardiac implantable electronic devices – types, indications and what should a clinician know

Cardiovascular implantable electronic devices include pacemakers for bradyarrhythmia treatment, implantable cardioverter defibrillators (ICD) for tachyarrhythmia management, and cardiac resynchronization therapy (CRT) devices for advanced heart failure with conduction delays. Devices are programmed to meet the specific needs of the individual patient assuring the efficacy and safety of device therapy. Pacemakers treat symptomatic bradyarrhythmias by restoring the normal heart rate and synchrony between atria and ventricles while avoiding unnecessary right ventricular pacing. ICD delivers antitachycardia pacing, cardioversion, or unsynchronized shocks according to prespecified detection criteria to terminate rapid ventricular tachycardia and ventricular fibrillation. CRT aims to resynchronize the contraction of the ventricular wall by biventricular pacing in order to improve left ventricular function. CRT devices can be low-voltage pacemakers or incorporate defibrillation. His Bundle pacing (HBP) results in physiological ventricular activation and mitigates the deleterious effects of right ventricular pacing. Leadless pacemakers and subcutaneous ICD offer long-term capability without lead-associated complications.